



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

SVĚTELNÝ PARALYZÉR

HIGH-INTENSITY STROBE LIGHT SOURCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ondrej Rehák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Ondřej Reháček

ID: 164382

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Světelný paralyzér

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte relevantní literaturu ohledně vlivů silných světelných výbojů na člověka. Podle získaných znalostí realizujte přípravek, který je schopen vygenerovat silné světelné pulzy v daném okamžiku a s tím zneškodnit nebo zmást útočníka. Pro přístroj vyberte vhodnou mikroprocesorovou platformu. Paralyzér má být aktivován na dotek nebo na povel. Přípravek má být lehký a kompaktní. Napájení řešte pomocí lehkých Lithiových akumulátorů. Přístroj realizujte, oživiťte a laboratorně otestujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR - ATmega16. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2006. 320 s. ISBN 80-7300-174-8.

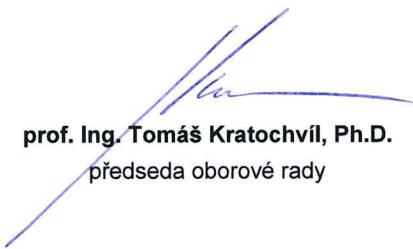
[2] DARULA, S. Osvětlování světlovody. 1. vyd. Praha: Grada, 2009, 160 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-2459-1.

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 30.5.2017

Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

Konzultant:


prof. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Táto bakalárska práca sa zaoberá problematikou vplyvu silných svetelných výbojov na človeka. Obsah práce zahŕňa popis ľudského zraku a reakcie ľudského zraku na intenzívne záblesky a následné využitie týchto poznatkov na zostrojenie zariadenia pre dočasné zneškodnenie alebo dezorientáciu útočníka.

Paralyzér bol navrhnutý tak, aby bol ľahký a kompaktný. Puzdro bolo navrhnuté a vyrobené na 3D tlačiarňi, zariadenie je napájané lítiovo-polymérovou batériou.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Svetelný paralyzér, výkonové LED, oslnenie, Arduino, 3D tlač

ABSTRACT

This bachelor's thesis discusses influence of high-intensity light strobes on human. Content of this thesis contain description of human sight and reaction of human sight to high-intense light strobes and consequently using this information to create device for temporal disable or disorientation of attacker.

High-intensity light strobe source was designed to be light-weighted and compact. The case was designed and made on 3D printer, device is powered by lithium-polymer battery.

KEYWORDS

High-intensity Light strobe source, high-power LED, glare, Arduino, 3D print

REHÁK, O. SVĚTELNÝ PARALYZÉR. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2017. 39 s., 5 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Ing. Zoltán Szabó, Ph.D.

PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že svoju bakalársku prácu na tému Svetelný paralyzér som vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a/alebo majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovení § 11 a nasledujúcich zákon č. 121/2000 Sb., o práve autorskom, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon), v znení neskorších predpisov, vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovení časti druhej, hlavy VI. diel 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb

V Brne dňa

.....
(podpis autora)

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu mojej bakalárskej práce Ing. Zoltánovi Szabóvi, Ph.D za odbornú a pedagogickú pomoc, za ochotu, rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.
Taktiež by som chcel poďakovať svojmu otcovi za praktické rady pri návrhu .

Obsah

Zoznam obrázkov	viii
Zoznam tabuliek	ix
Úvod	1
1 Účinky svetla na človeka	2
1.1 Základné fotometrické veličiny	2
1.2 Zrak	3
1.2.1 Stavba ľudského oka	3
1.2.2 Adaptácia zraku	4
1.3 Oslnenie	5
1.4 Buchov efekt	5
1.5 Broca-Sulzerov efekt	5
1.6 Brücke-Bartleyho efekt	6
1.7 EEG	7
1.8 Výber frekvencie zábleskov	7
2 Návrh a realizácia	8
2.1 Napájacia batéria	9
2.2 Výkonové LED	9
2.3 Arduino nano	11
2.3.1 Programovanie arduina	11
2.4 3D návrh puzdra	14
3 Testovanie a vyhodnotenie	19
3.1 Meranie intenzity	19
3.2 Vyhodnotenie oslnenia	20
3.2.1 Výpočet De Boerovho činiteľa	20
4 Záver	23
Literatúra	24
Zoznam symbolov, veličín a skratiek	25
A Návrh zariadenia	26
A.1 Schematické zapojenie LED	26

A.2	DPS pre LED – top copper (meď na prednej strane).....	27
A.3	DPS pre LED – top placement (súčiastky na prednej strane).....	27
A.4	DPS pre LED – bottom placement (súčiastky na zadnej strane)	28
A.5	DPS pre LED – bottom copper (meď na zadnej strane)	28
A.6	Rozmery puzdra – pohľad zvrchu.....	29
A.7	Rozmery puzdra – predný pohľad	29
B	Zoznam súčiastok	30

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1.1: Stavba oka [1]	3
Obr. 1.2: Pocitová jasnosť zábleskov v závislosti na čase [7]	6
Obr. 2.1: Bloková schéma.....	8
Obr. 2.2: 3D návrh rozloženia častí	8
Obr. 2.3: LED použitá v zariadení	9
Obr. 2.4: Schéma zapojenia LED	10
Obr. 2.5: Arduino Nano	11
Obr. 2.6: Programovanie Arduina pomocou druhého Arduina ako ISP	13
Obr. 2.7: Spodná časť puzdra	14
Obr. 2.8: Vrchná časť puzdra.....	15
Obr. 2.9: Začiatok 3D tlačenia.....	16
Obr. 2.10: Tlač horného puzdra	16
Obr. 2.11: Tlač spodného puzdra.....	17
Obr. 2.12: Pohľad na zariadenie bez horného krytu	17
Obr. 2.13: Výsledný svetelný paralyzér.....	18

ZOZNAM TABULIEK

Tabuľka 1.1 : Typické hodnoty intezity osvetlenia	2
Tabuľka 3.1: Namerané hodnoty	19
Tabuľka 3.2: De Boarov koeficient	21
Tabuľka 3.3: Vyhodnotenie oslnenia pri rôznych vzdialenostiach a intenzitách okolia	22

ÚVOD

Obsah tejto bakalárskej práce je zameraný na problematiku ohľadom svetelného paralyzéra. Paralyzéry sa vo všeobecnosti klasifikujú ako „zbrane nesmrtiaceho účinku“. Málo známy svetelný paralyzér funguje na princípe dočasného oslnenia protivníka silnými výbojmi svetla s určitou frekvenciou.

Výskumy na túto tému začali už v 50. rokoch 20. storočia a bolo zistené, že ak svetlo bliká s frekvenciou, ktorá je v určitom rozsahu, tak to narušuje spracúvanie prichádzajúcich informácií z očí cez centrálnu nervovú sústavu do mozgu, z čoho následne ostane človek dezorientovaný, poprípade paralyzovaný. Ak je svetlo silnejšie, tak vznikne dočasne rozmazané videnie a pri veľmi silnej intenzite je možnosť dostať epileptický záchvat alebo dokonca odpadnúť.

Práca je rozdelená do troch hlavných celkov. Prvý celok rozoberá účinky svetla na človeka. Táto kapitola obsahuje stručný popis a vysvetlenie funkcie oka a pripája popis rôznych vlastností oka v súvislosti s čo najlepším dosiahnutím „paralyzovania“.

Druhý celok rozoberá návrhom zariadenia, popisom konštrukcie, naprogramovania Arduina a návrhom 3D modelu a jeho realizáciu.

Posledný celok obsahuje namerané hodnoty a z nich vypočítané hodnoty pre zistenie orientačného oslnenia zariadenia.

1 ÚČINKY SVETLA NA ČLOVEKA

Táto kapitola rozoberá fungovanie ľudského oka, jeho adaptabilitu na svetlo a poukazuje na niektoré javy, ktoré majú relevantný vzťah k tematike svetelných paralyzéro.

1.1 Základné fotometrické veličiny

Na úvod je treba predstaviť základné fotometrické veličiny a ich stručné vysvetlenie pre lepšie porozumenie problematiky.

Fotometrické veličiny sú veličiny týkajúce sa svetla vnímaného ľudským zrakom.

Nepopisujú teda fyzikálne vlastnosti.

- Svietivosť – reprezentuje intenzitu svetla optického zdroja v určitom priestorovom uhle. Značí sa I_v a jednotkou je kandela (cd)
- Svetelný tok – určuje silu svetelného zdroja vnímanú ľudským okom. Značí sa Φ_L a má jednotu lumen (lm).
- Intenzita osvetlenia – je svetelný tok dopadajúci na plochu. Značí sa E a má jednotku lumen na meter štvorcový (lm/m^2)
- Jas – vnímaná svietivosť určitého povrchu. Značí sa L_v a má jednotku kandela na meter štvorcový (cd/m^2)

Tabuľka 1.1 : Typické hodnoty intezity osvetlenia

Podmienky	Jas pozadia
Spln	0,5 lx
Pouličné osvetlenie	10 lx
Domáce osvetlenie	30 až 300 lx
Osvetlená kancelária	100 až 1000 lx
Osvetlenie pri operácii	10 000 lx
Slnečný deň	100 000 lx

[1]

1.2 Zrak

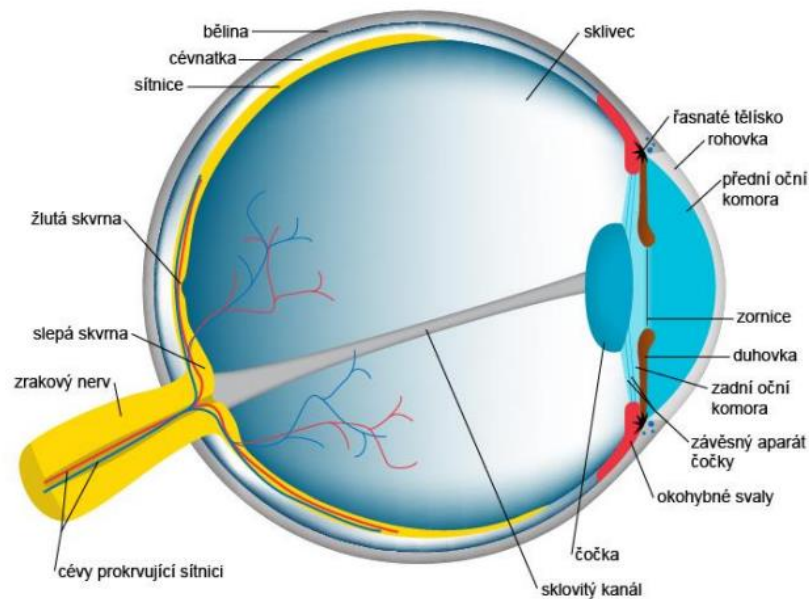
Zrak sa považuje z praktického hľadiska za najdôležitejší ľudský zmysel. Pomocou zraku získavame väčšinu informácií, sme schopní vnímať svetlo, jeho intenzitu, farbu a získavať informácie o okolí. Prijímaná informácia môže byť narušená rôznymi vplyvmi okolia, ako je nedostatok svetla v okolí, alebo naopak príliš veľká intenzita svetla. [2]

Aby sme mohli určiť ako tieto faktory ovplyvňujú zrak, je potrebné vedieť, ako funguje ľudské oko.

1.2.1 Stavba ľudského oka

Obr. 1.1: Stavba oka [2] zobrazuje časti ľudského oka. Opisovať celú funkciu oka je mimo tematiku tejto práce. Je však potrebné poznať tie časti oka, ktoré majú súvislosť s vnímaním jasu a farieb. Jedná sa hlavne o sietnicu s fotoreceptormi.

Optický systém zrakového ústrojenstva sa skladá z očnej gule, ktorá sa skladá z rohovky, šošovky, komorovej vody a sklovca. Očná guľa umožňuje dopad svetla na fotoreceptory, kde sa svetlo mení na elektrický potenciál, ktorý je prostredníctvom zrakového nervu s pomocou centrálnej nervovej sústavy (CNS) poslaný do príslušnej časti zrakovej časti v mozgu, kde sú tieto informácie následne spracované.[2]



Obr. 1.1: Stavba oka [2]

Optický systém umožňuje pomocou svalov v dúhovke regulovať priemer rohovky a s tým regulovať aj osvit sietnice a pomocou šošovky zaostríť obraz premietaný na sietnici. Sietnica je svetlo-citlivé tkanivo v zadnej časti oka ktoré pokrýva asi 65% jeho vnútorného povrchu. Sietnica obsahuje hustú mozaiku fotoreceptorov špecializovaných na detekciu svetla. Sú to tyčinky a čapíky, čo po dopade svetelnej energie odošlú signály cez CNS.[2]

- Očné čapíky – umožňujú farebné videnie. Sú tri druhy čapíkov, každý druh reaguje na inú vlnovú dĺžku svetelného spektra (zelená, modrá a červená farba). Sietnica obsahuje len 5% týchto buniek, no spracovanie farebného videnia zaberá asi 95% zrakového centra CNS. Čapíky sa nachádzajú v strede sietnice a v smere od jej centra klesá hustota.
- Očné tyčinky – sú bunky, ktoré umožňujú vnímanie kontrastov – čiernobiele videnie) aj pri veľmi malej intenzite svetla. Zaberajú plochu asi 95% sietnice, no na spracovanie informácií má zrakové centrum CNS vyčlenené len 5% kapacity zrakového centra. Hustota rozloženia tyčiniek zase naopak ako u čapíkov, stúpa smerom od stredu.

Tieto systémy sa vzájomne dopĺňujú, čapíky zabezpečujú farebné videnie pri dostatočnom svetle, pri nižšom svetle zabezpečujú videnie tyčinky, ktoré umožňujú vidieť v šere a tiež zabezpečujú periférne videnie.[2]

1.2.2 Adaptácia zraku

Oko sa dokáže prispôbovať rôznym hladinám svietivosti. Je schopné sa prispôbiť veľkému rozmedzí, od hviezdnej noci 0,001 lx až po slnečný deň 100 000 lx. [3]

Pri adaptácii oka z nižšieho jasú na vyšší, napr. pri prechode z tmy do svetla, sa rozkladajú fotoreceptory, čím sa znižuje celková citlivosť fotoreceptorov. Tento dej trvá asi 1 minútu a následne doznieva ďalších 10 minút.

Pri opačnej situácii, t.j. pri prechode z vyššieho jasú do nižšieho, napr. pri prechode zo slnečného svetla do tmavej miestnosti, sa potrebujú vytvoriť fotoreceptory, preto tento dej trvá dlhšie, pri nízkej zmene niekoľko minút až po hodinu pri prechode z vysokej intenzity svetla.[4]

Zrak človeka nepracuje staticky. Naše oči sa neustále pohybujú a obraz na sietnici sa mení s frekvenciou 5 obrázkov za sekundu. Dojem statickosti zabezpečuje kompenzačný mechanizmus, ktorý ruší informácie o pohybe očí, tela alebo hlavy. Zrakový vnem nevzniká a nezaniká súčasne ale má určité časové oneskorenie.[4]

Pre úplnosť informácií musí byť ešte spomenutá adaptácia zraku na farebné prostredia.

Ľudské oko má tri druhy čapíkov, každé citlivé na iné vlnové dĺžky (zodpovedajúce príslušnej farbe v spektre). Spektrálna citlivosť nie je rovnomerne rozložená a preto je ľudské oko citlivejšie na spektrum modrého svetla.[3]

Adaptácia na rôzne svetelné dĺžky nie je cieľom tejto práce, má však potenciál byť neskôr preskúmaná a následne môže byť implementovaná do danej problematiky paralyzéra.

1.3 Oslnenie

Ak sa nachádzajú v zornom poli oka príliš veľké jasy alebo ich rozdiely, poprípade ak nastane rýchla časová zmena alebo priestorové rozdiely, ktoré výrazne prekračujú adaptačné možnosti zraku, vzniká oslnenie. Pri náhlej zmene adaptačného jasu, na ktoré sa zrakový systém nedokáže hneď prispôbiť, vzniká prechodové oslnenie.[4]

Hlavné rozdelenie oslnenia:

- Psychologické
 - pozorovateľné
 - rušivé
- Fyziologické
 - obmedzujúce
 - Oslepujúce

Psychologické oslnenia nevyvolávajú zmeny zrakových funkcií, len spôsobujú subjektívny pocit nepohody a vzrastá únava.

Fyziologické oslnenie však už zhoršuje činnosť zrakových funkcií, pri obmedzujúcom oslnení sa znižuje celková zraková ostrosť a kontrastná citlivosť. V krajnom prípade môže vzniknúť oslepujúce oslnenie, ktoré znemožní celkovú činnosť zraku, a to na nejakú dobu po zániku príčiny tohto oslnenia.[5]

1.4 Buchov efekt

V 50. rokoch 20. storočia sa začal výskum, keď samovoľne začali havarovať vrtuľníky, pričom porucha nebola technického rázu ale psychologického. V prebiehajúcom vyšetrowaní Dr. Bucha zistil, že rotory vrtuľníka počas letu prerušovali lúče dopadajúceho svetla, čo spôsobovalo blikanie svetla s frekvenciou od 1 až do 20 Hz do očí pilota, ktorý následne zostal dezorientovaný.

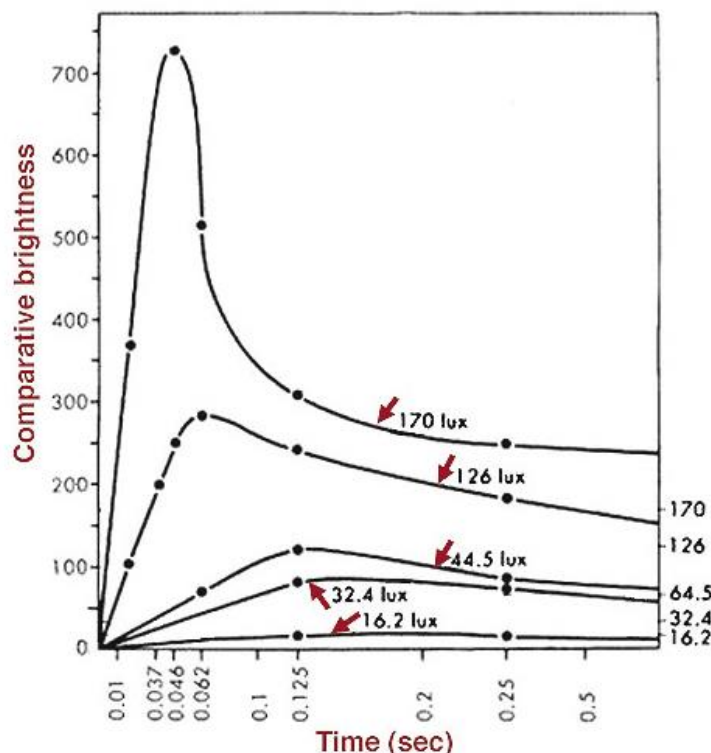
Tento takzvaný Buchov efekt, nazývaný tiež „Flicker vertigo“ je spôsobený nerovnomernou mozgovo-bunkovou aktivitou, ktorá je spôsobená vystavením sa nízko-frekvenčnému blikaniu alebo osvetleniu, relatívne silnejším svetelným zdrojom. To má za príčinu negatívne účinky na ľudský organizmus ako nevoľnosť, dezorientáciu, bolesť hlavy, zmätenie a v horších prípadoch aj záchvat alebo upadnutie do bezvedomia. [6]

1.5 Broca-Sulzerov efekt

V základnom vnímaní charakteristiky videnia existuje jav, takzvaný Broca-Sulzer efekt, ktorý opisuje tranzientný pozorovateľný nárast v jase záblesku počas krátkej doby. Subjektívny pocit vyššieho jasu sa vyskytuje v rozmedzí od 50 do 100 ms od podnetu záblesku. Ak zasvieti svetlo, je potrebný čas na dosiahnutie určitej hodnoty pre

minimálnu prahovú hodnotu, kým sa s tým oko nevyrovná. Svetlo vysokého oslnenia dosiahne túto hodnotu veľmi rýchlo a nestíha sa s veľkou zmenou hneď vyrovnať a preto sa pociťovo prvý okamih zdá svetlejší. Po určitom čase sa hodnoty ustália. [7]

Tento jav je zobrazený na **Obr. 1.2**. Z grafickej závislosti na obrázku je vidieť, že vnímaná hodnota záblesku je väčšia než je v skutočnosti a s narastajúcim jasom táto hodnota rastie.



Obr. 1.2: Pociťová jasnosť zábleskov v závislosti na čase [7]

Na x-ovej ose je vidieť čas prebiehajúceho záblesku, na y-ovej ose je zobrazená relatívna intenzita.

1.6 Brücke-Bartleyho efekt

Ďalší z javov súvisiaci s vnímaním svetla je Brücke-Bartleyho efekt. Tento efekt, podobne ako Broca-Sulzerov optický zvyšuje vnímané svetlo, avšak v závislosti na frekvencii blikania svetla.

Ľudské oko dokáže vnímať blikanie ako spojitý obraz nad určitú frekvenciu. Táto frekvencia sa nazýva kritická frekvencia pre blikanie, z anglického Critical Flicker Frequency (CFF).

Brücke objavil, že prerušované svetlo s určitou frekvenciou o určitej intenzite sa javí zosilnené oproti rovnakému svetlu neprerušovanému. Bartley tvrdil, že najväčšie zosilnenie nastáva pri frekvencii 10 Hz, v literatúre [8] z ktorej je čerpané, je uvedené, že maximá sa môžu nachádzať v rozmedzí frekvencií od 3 do 15 Hz.

1.7 EEG

Spracúvanie a odosielanie signálov z oka do mozgu signálov má tiež veľký vplyv na celkové vnímanie. Detailnejší opis mozgu presahuje rámec tejto práce, preto budú spomenuté len funkcie súvisiace s problematikou a aj to len v informatívnej podobe.

Ľudský mozog je obrovský zdroj extrémne malých frekvenčných signálov ktoré sú vysielané do celého tela. Mozgové vlny, tak isto ako aj prirodzený biorytmus, môžu byť narušené silným externým zdrojom signálu odpovedajúcemu frekvencii signálu v mozgu. Elektroencefalograf – EEG meria mozgové vlny rôznych frekvencií v mozgu. Periodicita týchto vln je dôležitá pre správnu koordináciu mozgovej aktivity. Medzi základné EEG frekvenčné pásma patria:

- Delta rytmus – s frekvenciou menšou ako 4 Hz
- Theta rytmus – v rozmedzí 3,5 – 7,5 Hz
- Alfa rytmus – v rozmedzí 7,5 – 13 Hz
- Beta rytmus – v rozmedzí 14 – 30 Hz
- Gamma rytmus – s frekvenciou väčšou ako 30 Hz

Susediace frekvencie presahujú jedna cez druhú o v 0,5Hz. [9]

Alfa vlny v rozmedzí frekvencií 7,5 až 13 Hz sú asociované s koncentráciou a ovládaním tela pomocou mysle. Ak teda budú mozgové vlny narušené externým zdrojom – v danom prípade svetelným, poprípade zvukovým, pri správnej frekvencii spôsobujú narušenie alfa rytmu v mozgu, z čoho následne vyplynie nesprávne odosielaniu pokynov cez CNS do tela. Tieto zmiešané pokyny majú za následok dočasnú dezorientáciu.[10]

1.8 Výber frekvencie zábleskov

Z predchádzajúcich poznatkov vyplýva, že pre účel čo najväčšej účinnosti oslnenia či paralyzovania je najlepšie vybrať frekvenciu v rozmedzí od 7,5 do 10 Hz. Toto rozmedzie frekvencií je prienikom popísaných štúdií v tejto práci súvisiacich so zrakovou nepohodou a teda podľa týchto štúdií by mali viesť k dezorientácii. V pôvodnej verzii bola vybraná frekvencia 10 Hz, ktoré je tiež často vyberaná vo výskumoch k danej problematike a je považovaná za účinnú.

V druhom návrhu bola implementovaná aj druhá frekvencia 8 Hz. Frekvencia 8Hz bola zvolená na základe spodnej medznej hodnoty alfa rytmu, posunutú o ofset 0,5Hz v rámci prekrývania vln.

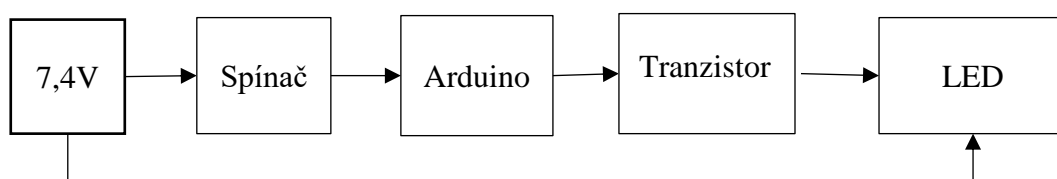
Pre testovacie účely a za účelom testovania bolo pridané do programu rozmietanie frekvencie od 8 do 10 Hz.

2 NÁVRH A REALIZÁCIA

Návrh vyvíjaného zariadenia prešiel rôznymi zmenami. Pri návrhu a zostrojení sa muselo počítať s rôznymi faktormi, ktoré ovplyvňujú výsledný vzhľad, výkon a veľkosť zariadenia.

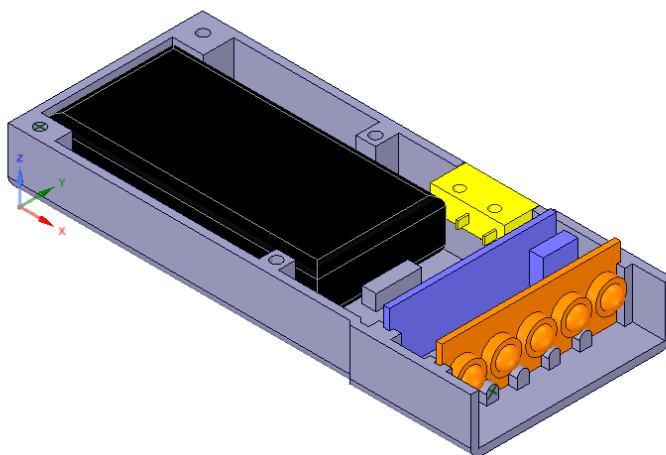
Ako je vidieť na **Obr. 2.1:** Bloková schéma zariadenie je zložené z troch hlavných častí : napájacia batéria, Arduino a LED na plošnom spoji.

Princíp fungovania je jednoduchý. Po zopnutí spínača sa spustí Arduino, z arduina sa vysielá PWM ktorá spína tranzistor zapojený ako spínač medzi napájaním LED a medzi zemou.



Obr. 2.1: Bloková schéma

Pre lepšiu predstavu a správne predstavenie súčastí v priestore bol vytvorený 3D návrh zariadenia v CAD programe DesignSpark Mechanical, ktoré je zadarmo na stiahnutie. Na **Obr. 2.2:** 3D návrh rozloženia častí je vidieť čiernou farbou napájacia batéria, žltou farbou spínač, modrou farbou Arduino nano a oranžovou farbou je zobrazený plošný spoj s výkonovými diódami.



Obr. 2.2: 3D návrh rozloženia častí

2.1 Napájacia batéria

Na napájanie bola zvolená 7,4 voltová lítiovo-polymérová batéria označenia BMF25-1300-2JST. Táto batéria je nabíjacia, môže dodávať vysoké prúdy a drží si stabilné napätie. Má prijateľné rozmery a kapacita 1300 mAh je dostačujúca pre potreby tohto zariadenia, keďže zariadenie nie je plánované na neustále blikanie, ale len na blikanie po určitú krátku dobu.

2.2 Výkonové LED

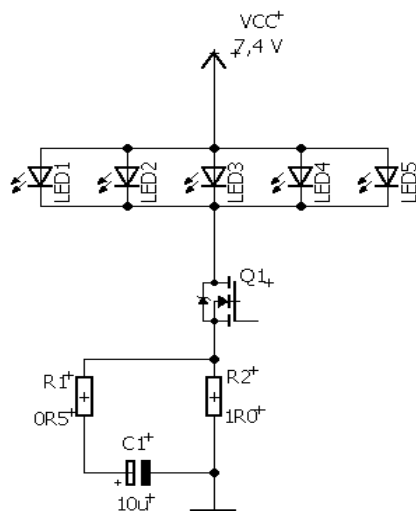
Pre zariadenie bolo vybraných päť výkonových LED od firmy Optosupply s kódovým označením OSW4X2E5E1E zobrazená na **Obr. 2.3**.



Obr. 2.3: LED použitá v zariadení

Tieto LED majú svetelný tok 320 lumenov pri prúde 700 mA a farebnú teplotu 6500K. Ich prahové napätie je 5,4 V. Keďže sú LED zapojené paralelne, napätie z 7,4V batérie im postačí, musí sa však zvýšiť prúd 5-násobne pri piatich diódach. Keďže sú diódy spínané, nie sú toľko tepelne namáhané a preto na ich chladenie stačí plošný spoj. Pre istotu bol na plošný spoj pod diódy pridaný medený pás aby sa teplo rovnomerne odvádzalo.

Pri piatich diódach sa svetelný tok sčíta, výsledný svetelný tok piatich LED je 1500 lumenov.



Obr. 2.4: Schéma zapojenia LED

Aby sa zvýšil účinok svetelného osvetlenia, je do obvodu pridaný RC člen, paralelne k rezistoru R2, ktorý určuje prúd diódami. Kým sa kondenzátor nabíja, prúd prechádzajúcimi diódami je daný paralelnou hodnotou rezistorov R1 a R2 a to vyvolá pocitovo silnejší krátky záblesk. Následne po dobíí kondenzátora hodnota prúdu klesne na hodnotu prúdu cez rezistor R2.

Prúd všetkými diódami keď je nabitý kondenzátor:

$$I_{ALL} = \left(\frac{U - U_F}{R2} \right) = \left(\frac{7,4 - 5,4}{1} \right) = 1,9 \text{ A} \quad (1.1)$$

Prúd jednou diódou je 5 krát menší:

$$I_{ONE} = \left(\frac{I_{ALL}}{5} \right) = \left(\frac{1,9}{5} \right) = 0,4 \text{ A} \quad (1.2)$$

Prúd všetkými diódami keď sa nabíja kondenzátor:

$$I_{ALL} = \left(\frac{U - U_F}{\frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2}} \right) = \left(\frac{7,4 - 5,4}{\frac{0,5 \cdot 1}{0,5 + 1}} \right) = 6,06 \text{ A} \quad (1.3)$$

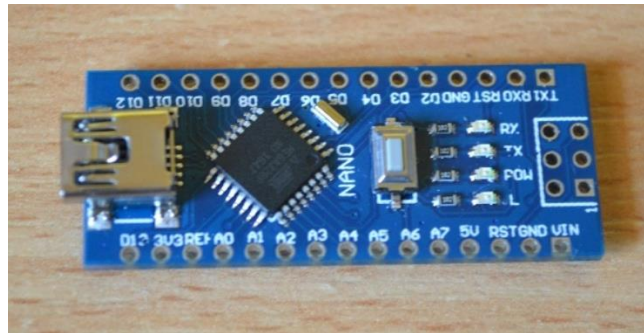
Prúd jednou diódou je 5 krát menší:

$$I_{ONE} = \left(\frac{I_{ALL}}{5} \right) = \left(\frac{6,06}{5} \right) = 1,22 \text{ A} \quad (1.4)$$

Tranzistor na spínanie bol vybraný výkonový N-MOSFET ($I_D = 20 \text{ A}$ s ochrannou diódou a nízkym odporom na prechode Drain-Source $R_{DS} = 0,04 \Omega$).

2.3 Arduino nano

Arduino je vývojársky modul, ktorého základ tvorí mikroprocesor ATmega od firmy Atmel. Arduino je open-source a môže byť použitý na vytváranie rôznych samostatných aplikácií. Existujú rôzne dosky arduina. Líšia sa hlavne veľkosťou dosky, vstavaným mikroprocesorom s inou frekvenciou alebo veľkosťou napájacieho napätia. Arduino nano obsahuje mikroprocesor ATmega328 s frekvenciou 16 MHz. Arduino nano je zobrazené na **Obr. 2.5**.



Obr. 2.5: Arduino Nano

Arduino bolo pôvodne zvolené pre tento projekt v rámci jeho jednoduchosti ovládania a súčasne aj jednoduchého pripojenia hlasového modulu pre možné ovládanie hlasom.

Po preštudovaní výhod a nevýhod, ktoré by mohol priniesť hlasový modul a celkové ovládanie hlasu, bolo skonštatované, že hlasový modul nebude použitý v tomto projekte. Medzi hlavnú nevýhodu patrí konštrukčná stránka a to hlavne vo veľkosti, kde by sa musel pridať hlasový modul, následne by sa musel vhodne zvoliť mikrofón aby bola správne rozpoznávaná reč. Okrem toho, aby bola rozpoznávaná reč, musel by byť prístroj stále vyhodnocovať prichádzajúci zvuk čo by malo za následok rýchle vybíjanie batérie.

2.3.1 Programovanie arduina

Arduino bolo naprogramované pomocou vývojového prostredia Arduino IDE. Vývojové prostredie ponúka rýchlejšie naprogramovanie pre menej pokročilých užívateľov cez ich vstavané funkcie. Tieto funkcie sú naprogramované univerzálne pre rôzne verzie arduina.

Z dôvodu lepšej optimalizácie programu je program napísaný priamo v programovacom jazyku C a prístupuje sa tu priamo k registrom.

Pre generovanie frekvencie bola použitá impulzová šírková modulácia – PWM. PWM je generovaná pomocou časovača/čítača 1. Mód bol zvolený CTC – Clear Timer on Compare Match – kde čítač inkrementuje hodnotu registru TCNT1 až pokým nie je rovná hodnote v registru OCR1A. Pri rovnosti registrov sa vynuluje sa register TCNT1 a vyvolá sa príslušné prerušenie.

Pre výpočet požadovanej frekvencie bol použitý daný vzorec ktorý sa nachádza v katalógovom liste [11]

$$f_{OCR1A} = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \cdot N \cdot (1 + OCR1A)} \quad (2.1)$$

Z predchádzajúceho vzorca (1.4) si vypočítame hodnotu registru OCR1A pre frekvenciu 10 Hz.

$$OCR1A = \frac{f_{clk_I/O}}{2 \cdot N \cdot f_{OCR1A}} - 1 = \frac{16 \cdot 10^6}{2 \cdot 256 \cdot 10} - 1 = 3124 [-] \quad (2.2)$$

Pre 8 Hz po dosadení do vzorca (1.5) vyjde hodnota $OCR1A = 3905$.

Pre zmenu frekvencie z 10 Hz na 8 Hz sa každým ďalším urobeným cyklom zvýši hodnota registru OCR1A o 30, tým sa zväčšíperióda ďalšieho cyklu a tým pádom sa zníži frekvencia. Ak hodnota registru bude rovná alebo väčšia hodnote odpovedajúcej 8 Hz, tak sa vráti naspäť na počiatočnú hodnotu pre frekvenciu 10 Hz.

Zvolený výstupný pin 13 na doske arduina je pripojený s ATmegou na porte B / piaty pin, ako je vidieť v schéme zapojenia arduina [11].

Preklopenie je realizované pomocou zapísania logickej jednotky na pozíciu výstupného portu. V katalógovom liste ATmegy328/P je napísané, že pri zápise jednotky na výstupný pin daného portu sa tento pin preklopí. [12]

```
#define LEDPIN 5          // PINB5 - výstupný pin pre tranzistor

/**
*****
* Nastavenie a inicializácia
*/

void setup() {
  DDRB=0b100000;          // D13(PINB5) na porte B ako výstupný

  noInterrupts();          // zakázanie všetkých prerušení

  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;               // znulovanie registrov
  TCNT1 = 0;

  TCCR1B |= (1 << WGM12);   // nastavenie módu CTC
  TCCR1B |= (1 << CS12);    // nastavenie preddeličky 256
```

```

TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);    // povolenie prerušenia pre čítač

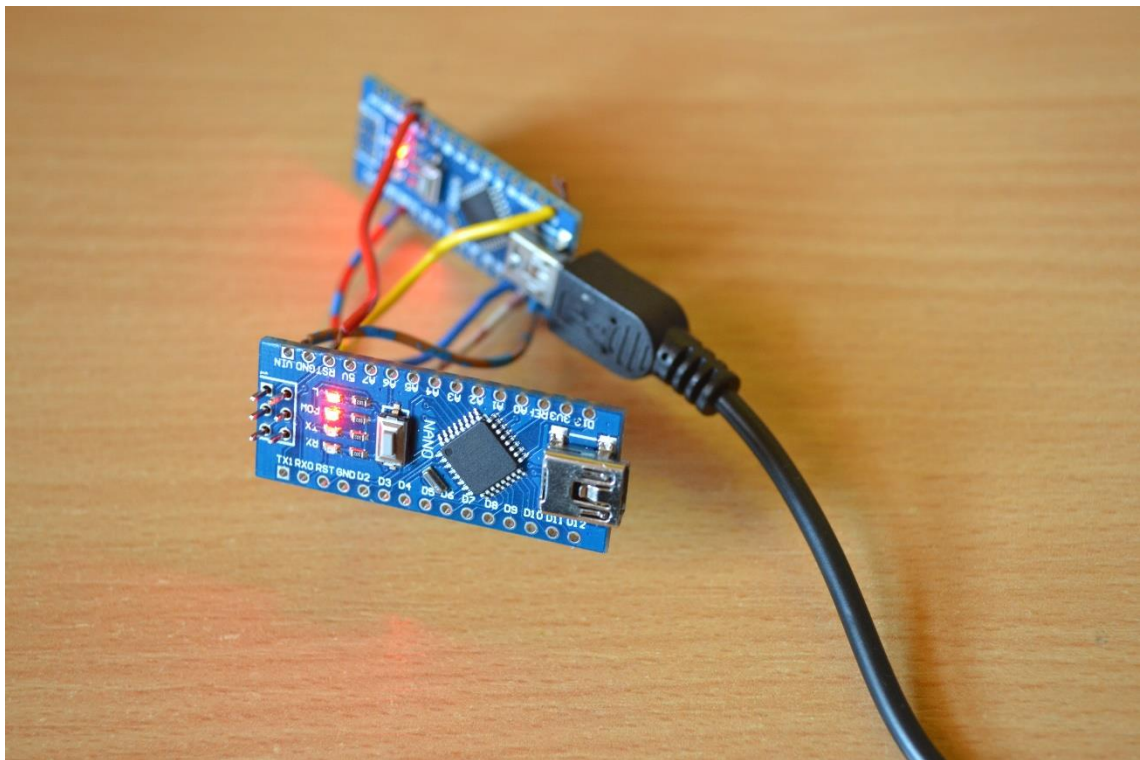
OCR1A = 3124;                // nastavenie komparačného registru

interrupts();                // povolenie prerušení
}

/**
*****
* Prerušenie pre zmenu frekvencie
*/
ISR(TIMER1_COMPA_vect){      // vektor prerušenia čítača
    PINB = (1 << LEDPIN);    // preklopenie logickej hodnoty
    OCR1A += 30;              // znižovanie frekvencie
    if(OCR1A >= 3905){        // 8Hz
        OCR1A = 3124;        // 10 Hz
    }
}

```

Pôvodne bol program nahraný cez USB pomocou vstavaného bootloaderu arduina. Toto má ale nevýhodu toho, že pri zapojenia napájania z batérie sa Arduino načítava a spustí program asi po 1,5 až 2 sekundách od zapnutia napájania. Na tento projekt je však potreba mať program plne funkčný od zapnutia napájania, preto bol program nahraný priamo do mikroprocesoru na doske cez ISP. Na nahrávanie bolo použité druhé Arduino použité ako ISP programátor zobrazené na **Obr. 2.6**.



Obr. 2.6: Programovanie Arduina pomocou druhého Arduina ako ISP

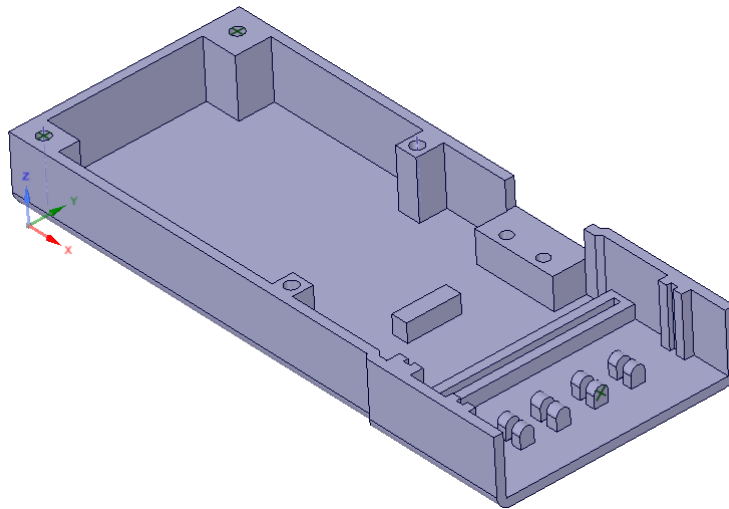
2.4 3D návrh puzdra

Pre čo najlepšie využitie miesta bolo zhotovené 3D puzdro v programe DesignSpark Mechanical.

Puzdro je zložené z dvoch častí. Spodná časť na **Obr. 2.7**: Spodná časť puzdra je konštrukčne riešená tak, aby sa do zadnej časti vložila napájacia batéria do priestoru ohraničeného podperami pre spojovacie skrutky, medzera naboku slúži na vloženie spínača, na usadenie arduina bola použitá priehradka o presných rozmeroch ako je šírka dosky arduina, pre prax je lepšie zvoliť o 0,5mm väčšiu než je šírka dosky arduina (0,25 mm na každú stranu) pre prípadné nerovnosti tlače.

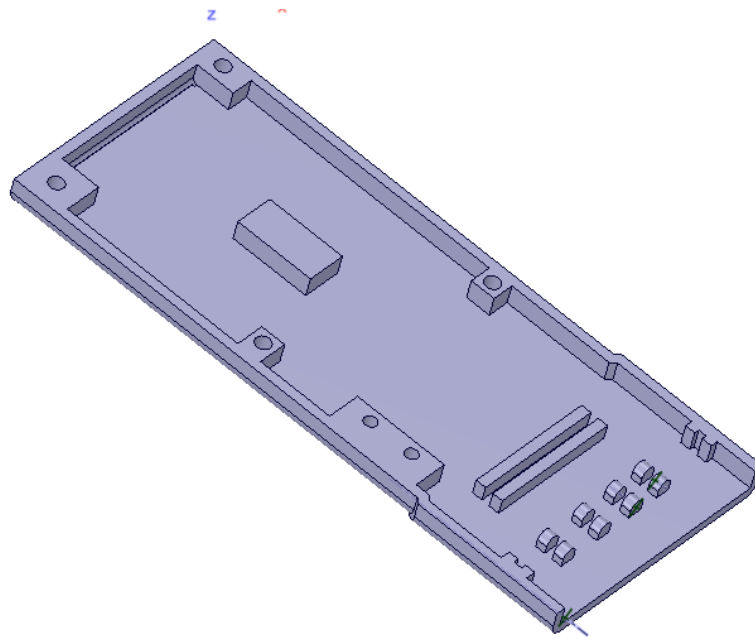
Zúbky na uchytenie prednej dosky boli vytvorené v prvej verzii návrhu kde neboli priehradky po bokoch a teoreticky by sa dal ušetriť filament ak by tam neboli, v tomto prototypu sú však implementované pre lepšiu stabilitu DPS.

Diery na skrutkovanie v spodnej časti krytu majú priemer 2,8 mm, pre lepšie prichytenie (3 mm samorezacia skrutka si vytvorí lepšie vlastný závit). Diery v spodnej časti neprechádzajú cez celé puzdro ale sú zapustené s hĺbkou 12 mm.



Obr. 2.7: Spodná časť puzdra

Spodná časť puzdra má výšku 15 mm, hrúbka steny je 2 mm. Predné úchytky na plošný spoj obsahujú zúbky aby nezavadzali plôškam na prispájkovanie LED na plošný spoj.



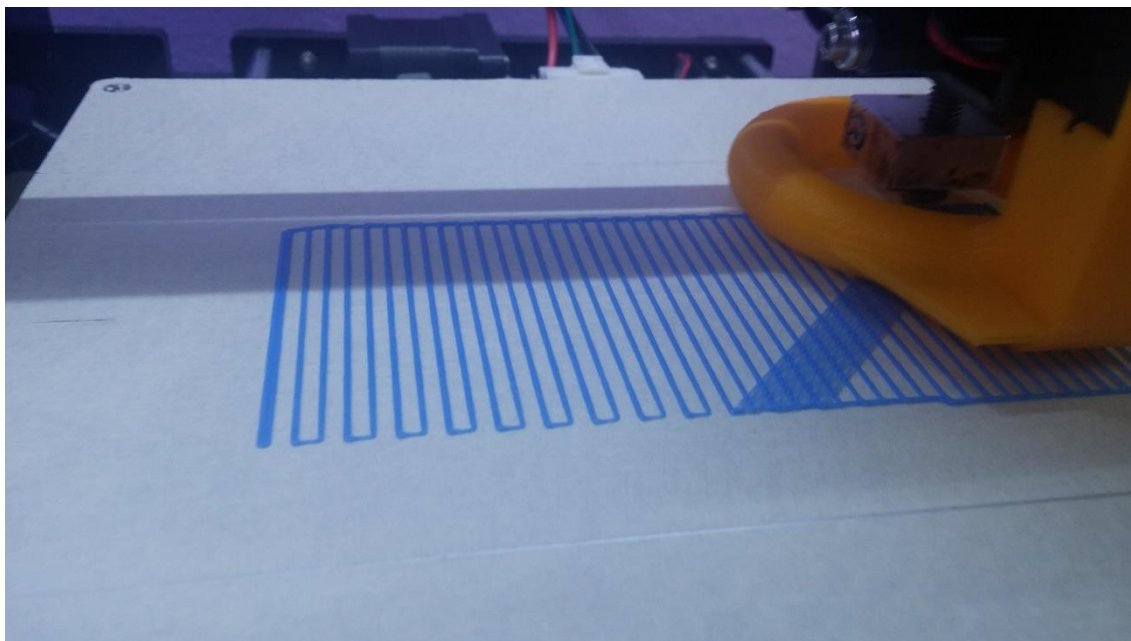
Obr. 2.8: Vrchná časť puzdra

Vrchná časť puzdra má výšku 6 mm, ploška v strede slúži na pritlačenie batérie, úchytka na Arduino sú kratšie aby sa dali pripojiť káblíky na napájanie a na signál z pinu 13.

Výroba bola uskutočnená v domácich podmienkach.

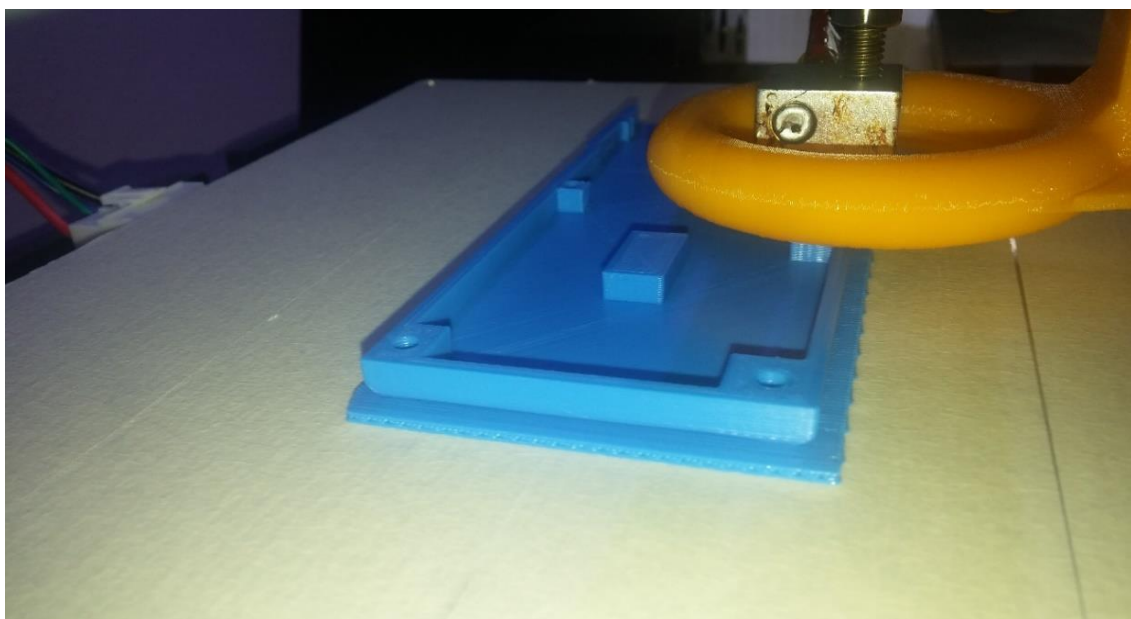
Tlač vrchného krytu trvala 4,5 hodiny, tlač spodného krytu trvala 3 hodiny. Obidve časti boli tlačené s presnosťou 0,2 čo je dostatočná pre tieto účely. Návrh je vytvorený tak, aby neboli potreba podpory, na obe časti sa minulo 12 m filamentu pri nastavení 100% výplne.

Pre možnosť replikovať návrh je v prílohe priložený súbor s názvom Puzdro.rsdoc pre program DesignSPark Mechanical. Taktiež sú v prílohe vygenerované príslušné súbory vrchnej a spodnej časti puzdra vo všeobecnom formáte .stl pre 3D tlačiarne, Puzdro_spodok.stl a Puzdro_vrch.stl.

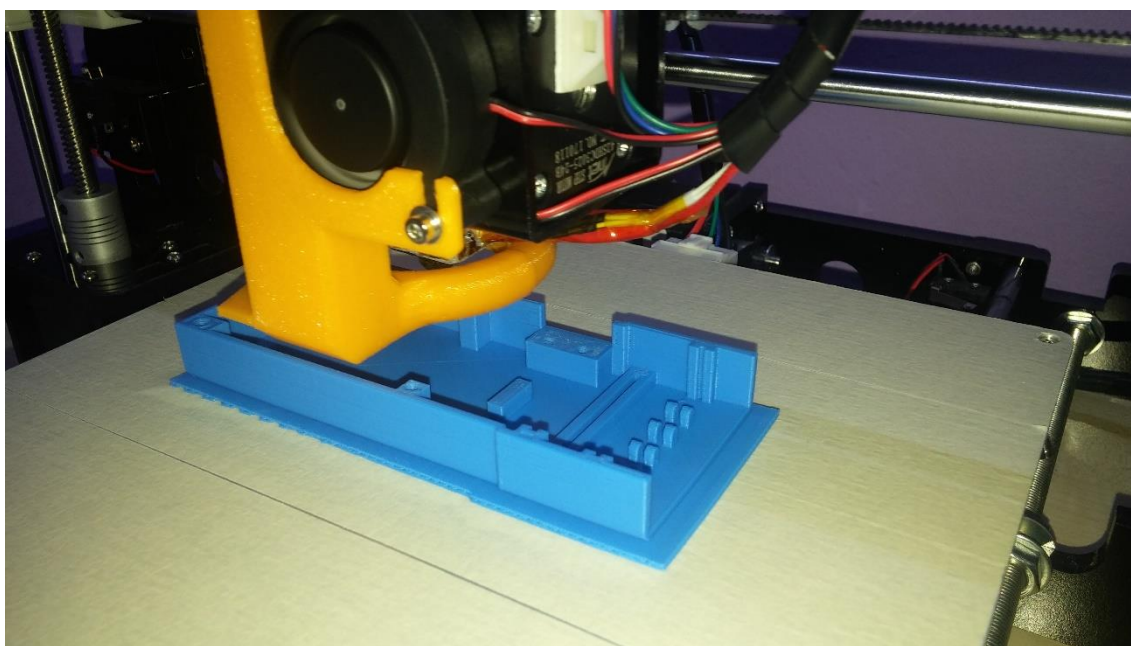


Obr. 2.9: Začiatok 3D tlačenja

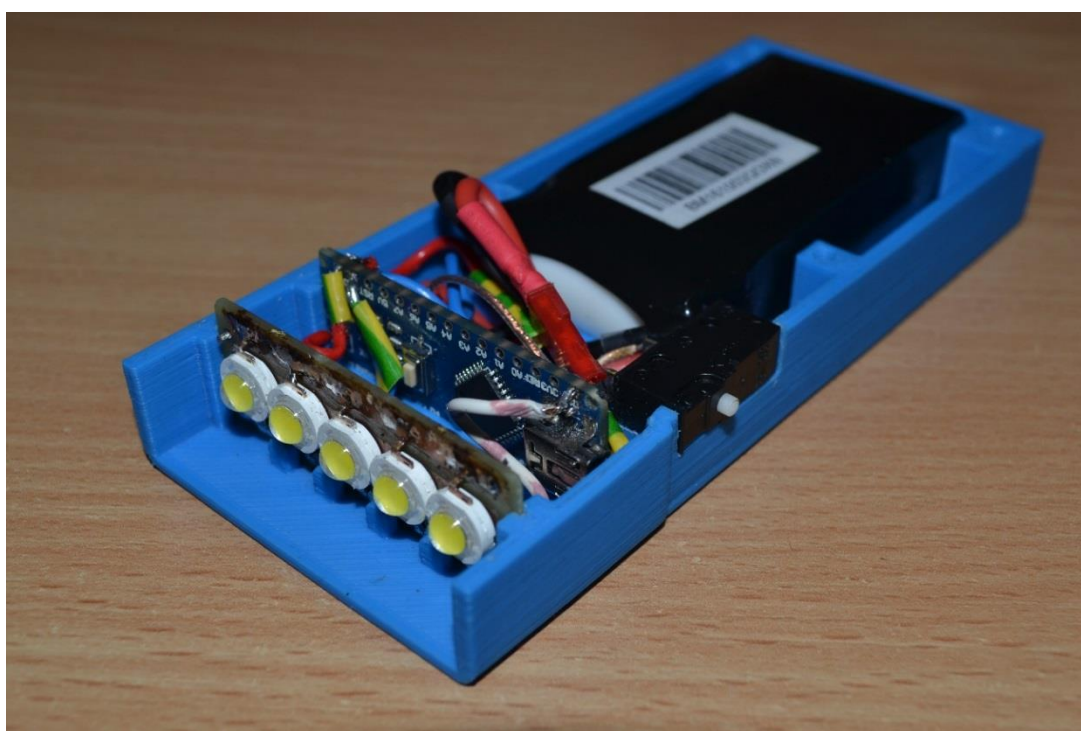
Pre zlepšenie koncového vytlačeného výrobku 3D tlačiarňou je vhodné pridať takzvaný Raft, ktorý je vidieť na **Obr. 2.9:** Začiatok 3D tlačenja. Je to v podstate podložka pod tlačený objekt. Na úkor filamentu pomáha spresniť tlač a hlavne predchádza ohýbaniu plastu a odstraňuje nedokonalosti spodných hrán, ktoré sú spôsobené hriatím podložky. Po dokončení modelovania objektu sa raft musí mechanicky odstrániť.



Obr. 2.10: Tlač horného puzdra



Obr. 2.11: Tlač spodného puzdra



Obr. 2.12: Pohľad na zariadenie bez horného krytu



Obr. 2.13: Výsledný svetelný paralyzér

Paralyzér (**Obr. 2.13**) funguje pri držaní mikrospínača. Dĺžka paralyzéra je 120 mm, šírka je 52 mm a výška je 21 mm. Výsledná hmotnosť je 128 g.

3 TESTOVANIE A VYHODNOTENIE

3.1 Meranie intenzity

Zariadenie bolo otestované v laboratórnych podmienkach. Meraná veličina bola intenzita osvetlenia. Z dostupných možností bol zvolený luxmeter UNITEST 93514 s rozsahom do 20 000 lx. Odchýlka pri meraní s rozsahom 20 000 luxov bola 10 lx, pri meraní s rozsahom 2000 luxov bola odchýlka merania 1 lux.

V miestnosti bolo nameraná priemerná hodnota 368 lx.

Osvetľovacia sústava svietila kolmo na luxmeter vo vzdialenostiach od 20 cm do 100cm. Vzdialenosť 20cm bola zvolená z dôvodu normy ČSN 62471 [13] používaná pre maximálnu povolenú vzdialenosť k očiam u iných typov svetelného osvetlenia.

Výsledky merania sú uvedené v **Tabuľka 3.1**: Namerané hodnoty

Tabuľka 3.1: Namerané hodnoty

Vzdialenosť [cm]	Maximálna hodnota [lx]	Priemerná hodnota [lx]
20	4840	4100
30	2540	2000
40	1630	1300
50	1140	1050
60	970	910
70	860	790
80	730	720
90	690	670
100	580	520

Ako je vidieť z tabuľky, najväčšia intenzita bola nameraná v najmenej vzdialenosti a so vzdialenosťou intenzita klesá.

3.2 Vyhodnotenie oslnenia

Celková téma oslnenia a osvetlenia v kontexte svetelného paralyzéra nie je dostatočne objasnená. Nie sú dostupné žiadne konkrétne normy na tento typ zariadenia či konkrétne na tento typ oslnenia. Výskumy sa vždy týkali určitých oblastí spadajúcu pod oblasť paralyzéra, vid' prvá kapitola alebo nie sú zapracované do žiadnej konkrétnej štúdie na túto oblasť. Boli nájdené zmienky o tomto výskume v zámorí, avšak tieto výskumy a testy neboli odtajnené. Preto výpočty k danej problematike vychádzajú z príbuzných tém a nemusia úplne korešpondovať s reálne vnímanými hodnotami.

V rámci semestrálnej prípravy na túto prácu bolo vypočítaných niekoľko strán príkladov pre rôzne oslnenia podľa Netušilovho vzorca aj podľa unifikovaného vzorca pre oslnenie UDR z malých zdrojov svetla, tieto hodnoty však nakoniec neboli zahrnuté do tejto práce, pretože nezahrnovali do úvahy faktory spomenuté v prvej kapitole a pre zamerané výsledné intenzity nezobrazovali ani vzdialené hodnoty predpokladané.

Z dôvodu väčšej príbuznosti tém s oslnením bola zvolená tematika oslnenia LED lampami používaných pre horníkov. Ten istý vzorec sa používa na výpočet oslnenia v automobilovom priemysle na LED stretávacie svetlá.

Výpočet oslnenia rozhodne nie je úplne deterministický, pretože v rámci popísanej problematiky tu hrá roľu veľmi veľa faktorov ktoré ovplyvňujú celkový výsledok pocitu oslnenia.

3.2.1 Výpočet De Boerovho činiteľa

Pre určenie rušivého oslnenia sa používa de Boerov činiteľ.[14][15]
De Boerova metóda má vlastnú tabuľku podľa ktorej sa určuje miera oslnenia.

Vzorec pre oslnenie:

$$DG = \log(E_L + E_S) + 0,6 \cdot \log(E_L/E_S) - 0,6\log(E_A) \quad (4.1)$$

kde	DG - rušivé oslnenie	[-]
	E_L - intenzita osvetlenia zdroja	[lx]
	E_S - intenzita osvetlenia plochy obklopujúca zdroj	[lx]
	E_A - intenzita osvetlenia okolia	[lx]

Následne sa dosadí výsledné rušivé oslnenie do vzorca

$$DB = 6,6 - 6,4 \cdot \log(DG) \quad (4.2)$$

kde DB je De Boerov činiteľ [-]

Po dosadení hodnôt do vzorca pre vzdialenosť 20cm od zdroja:

Pre E_L bude dosadená hodnota 4000 lx, pre intenzitu plochy obklopujúcej zdroj E_s je použitá tá istá hodnota ako hodnota okolia E_A – 368 lx:

$$DG = \log(4100 + 368) + 0,6 \cdot \log(4100/368) - 0,6 \log(368) = 2,99$$

Po dosadení do vzorca (4.2) vyjde De Boerov činiteľ:

$$DB = 6,6 - 6,4 \cdot \log(2,98) = \underline{3,56}$$

Po dosadení druhej krajnej hodnoty pre 100 cm vyjde hodnota De Boerovho činiteľa 5,03.

Tento koeficient je následne porovnaný s **Tabuľka 3.2**

Tabuľka 3.2: De Boerov činiteľ

Hodnota	Význam
1	Neznesiteľné
2	
3	Rušivé
4	
5	Práve prijateľné
6	
7	Prijateľné
8	
9	Sotva pozorovateľné

Pre hraničné hodnoty výpočtov vyšli tabuľkové hodnoty nasledovne: Pre najbližšiu vzdialenosť 20 cm, vyšla hodnota oslnenia 2,99 čo zodpovedá indexu medzi takmer prijateľným a rušivým.

Pre vzdialenosť 1 m vyšla hodnota 5,1 čo je na stupnici prijateľnosti.

Vzorec sa dá aplikovať pre rôzne prostredia a keďže boli namerané hodnoty pre rôzne vzdialenosti je vytvorená tabuľka De Boerovho činiteľa pre rôzne intenzity osvetlenia a rôzne vzdialenosti. Pre intenzity osvetlenia prostredia sú použité priemerné hodnoty z **Tabuľka 1.1** doplnené o zmeranú hodnotu intenzity osvetlenia miestnosti v ktorej prebiehalo meranie.

Tabuľka 3.3: Vyhodnotenie oslnenia pri rôznych vzdialenostiach a intenzitách okolia

Paralyzér Okolie [lx]	4100	2000	1300	1050	910	790	720	670	520
0,5	1,6	1,8	2,0	2,0	2,1	2,1	2,2	2,2	2,3
10	2,3	2,6	2,8	2,9	3,0	3,1	3,1	3,2	3,3
165	3,2	3,7	3,9	4,1	4,2	4,3	4,4	4,4	4,6
368	3,6	4,0	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8	4,8	5,0
550	3,7	4,2	4,5	4,7	4,8	4,9	5,0	5,0	5,2
10000	4,8	5,2	5,4	5,6	5,6	5,7	5,8	5,8	6,0
100000	5,1	5,5	5,7	5,8	5,9	6,0	6,1	6,1	6,3

Z tabuľky je vidieť, že pri tmavších prostrediach bude osvit neznesiteľný až rušivý, pričom záleží aj od vzdialenosti paralyzéra od osvecovanej osoby.

4 ZÁVER

V prvej časti bakalárskej práce boli preskúmané účinky svetla na človeka. Na základe odbornej literatúry a predchádzajúcich výskumov boli zistené rôzne limitácie pri adaptácii ľudského zraku na zmenu svetla.

Tieto limitácie sa týkajú hlavne blikajúceho svetla s frekvenciou od 8 Hz do 10 Hz s veľkou intenzitou, kde toto frekvenčné pásmo je považované za najrušivejšie pásmo pre zrakový vnem a je vybrané pre toto zariadenie s cieľom čo najväčšej účinnosti oslnenia a „paralyzovania“.

V druhej časti práce bol navrhnutý a zostrojený prototyp paralyzéra tak, aby spĺňoval podmienky zadania práce. Na osvecovanie bolo použitých päť výkonových diód s celkovým svetelným tokom 1500 lumenov, ktoré sú riadené Arduinoom s vstavaným mikroprocesorom ATmega328/P. Na napájanie bola použitá Li-Pol batéria s kapacitou 1300 mAh.

Pre paralyzér bolo navrhnuté 3D puzdro tak, aby sa dalo dobre uchopiť do ruky a aby bolo v rámci možností návrhu aj ergonomické.

Prototyp paralyzéra je ľahký - 128g, veľkostne s rozmermi 120x52x21 mm (dĺžka, šírka, výška) sa zmestí do vrečka od košele a je ovládaný na dotyk.

V tretej časti boli laboratórne zmerané hodnoty intenzity osvetlenia. Z dôvodu neexistujúcej normy pre svetelné paralyzéry alebo pre takýto špecifický druh „nesmrtiacej zbrane“ bol na prepočet oslnenia použitý vzorec na výpočet osvetlenia LED lampy u horníkov, vzorec je tiež používaný na výpočet oslnenia stretávacích LED svetiel na autách.

Výsledky testov a následné spracovanie sú zobrazené v **Tabuľka 3.3**: Vyhodnotenie oslnenia pri rôznych vzdialenostiach a intenzitách okolia. Z hodnôt vyplýva, že paralyzér je tým účinnejší, čím je tmavšie prostredie. Vzdialenosť od osvecovaného subjektu hrá taktiež rolu v účinnosti, čím je subjekt ďalej od zdroja, tým je účinok slabší.

Je ale otázne, akú skutočnú účinnosť má blikanie, keďže vzorce nie sú presne definované na tento typ osvetlenia a nemožno overiť ich funkčnosť v danej aplikácii. S cieľným osvecovaním vzorec nepočíta, navyše norma neberie v úvahe blikanie ale berie v úvahu konštantnú hodnotu intenzity osvetlenia.

Z dôvodu bezpečnosti a aby nedošlo k úrazu alebo nechcenému poškodeniu zraku neboli spravené testy na subjektoch. S istotou sa však dá povedať, že paralyzér prináša taktickú výhodu vo večerných hodinách a v tmavých miestnostiach. Pri blikaní sa nedá pozerieť smerom k zdroju blikania a tým pádom ani na dotyčnú osobu, čo dáva celkovú značnú výhodu.

Pre ďalší výskum v tejto problematike by sa dalo preskúmať farebné spektrum LED a ich kombinácia blikania a rôzne farebné vzory LED poľa smerom k subjektu a preskúmať bezpečné otestovanie silných zábleskov na ľudský zrak.

LITERATÚRA

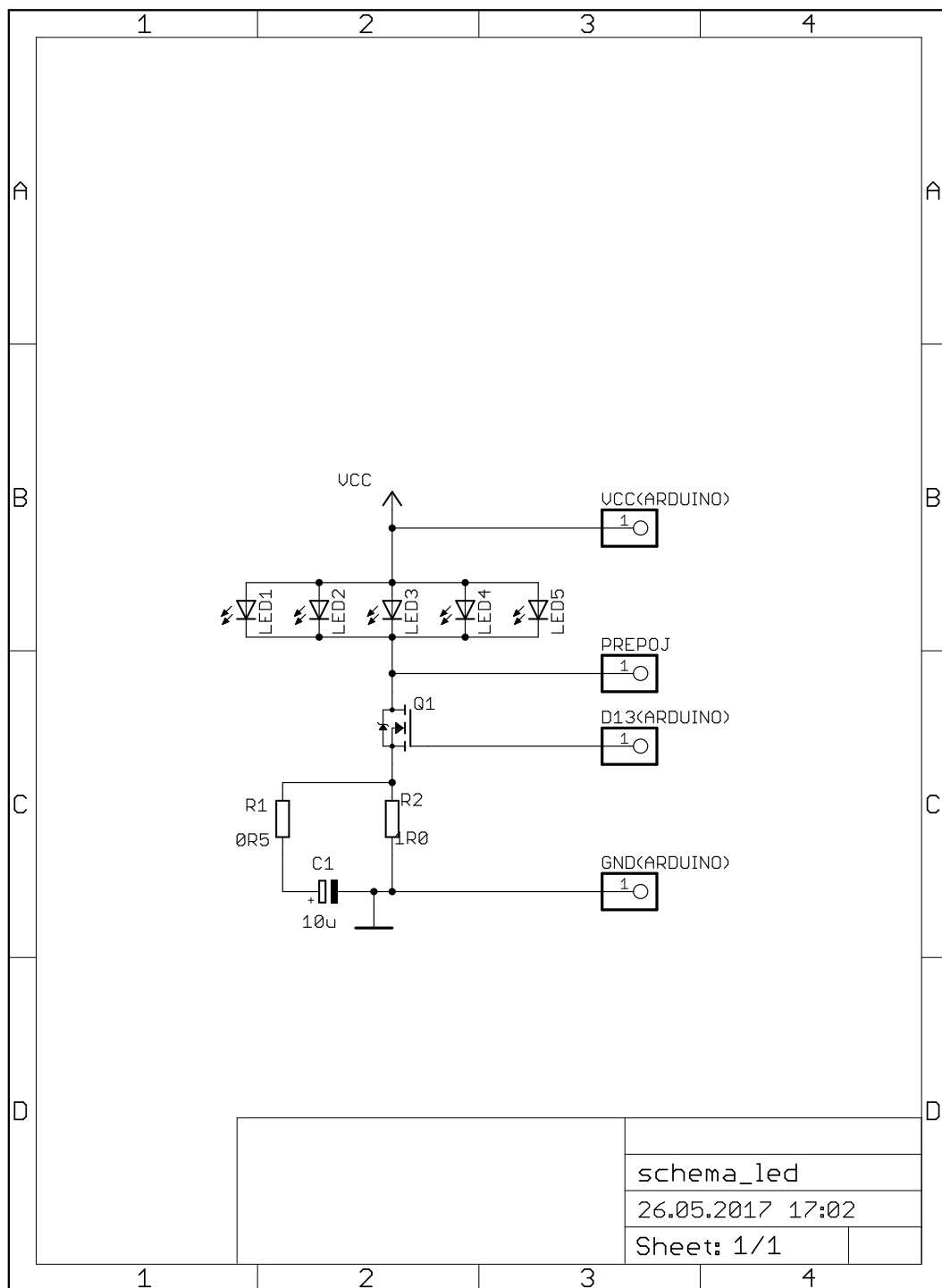
- [1] SCHUBERT, Fred. *Light-Emitting Diodes*. 2. vydanie. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. ISBN 9781139455220. Dostupné také z: https://books.google.cz/books?id=0H4bWlpaXb0C&dq=inauthor:%22E.+Fred+Schubert%22&hl=sk&source=gbs_navlinks_s
- [2] BERNACIKOVÁ, Martina. *Fyziologie smyů*. In Bernaciková, Martina. *Fyziologie člověka*. Brno: Masarykova univerzita, 2014. s. nestránkováno. ISBN 978-80-210-7697-6. Dostupné z: <https://publi.cz/books/151/12.html>
- [3] PERZ, Małgorzata. *Flicker perception in the periphery*. Eindhoven, 2010. IN 0641428 Dostupné z: http://home.ieis.tue.nl/rcuijper/reports/Perz%20M_Master%20Thesis_Flicker%20Percepti on%20in%20the%20Periphery.pdf
- [4] NHABEL, Jiří a Petr ŽÁK. *Elektrické světlo I*. Praha, 2011. Dostupné z: http://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/studijni_materialy/es1/a5m15es1_final.pdf. Učebný text. ČVUT.
- [5] ROTREKL, M. Hodnocení oslnění vnitřních a venkovních osvětlovacích soustav. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 67 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Škoda, Ph.D..
- [6] RASH, Clarence. *Awareness of Causes and Symptoms of Flicker Vertigo Can Limit Ill Effects* [online]. Flight Safety Foundation, 2004, vol. 51, no.2 [cit. 2017-05-22]. ISSN 1057-5545. Dostupné z: http://flightsafety.org/hf/hf_mar-apr04.pdf
- [7] Temporal resolution. *WEBVISION* [online]. 2007. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/temporal-resolution>
- [8] H. Autrum, et al. EDITED BY RICHARD JUNG. *Central Processing of Visual Information A: Integrative Functions and Comparative Data*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1973. ISBN 978-3-642-65352-0.
- [9] KOZLOWSKI, M, MARCIAK-KOZLOWSKA, J. *Schumann Resonance and Brain Waves: A Quantum Description*. NeuroQuantology, 2015, s. 196-204. ISSN 13035150.
- [10] Nishifuji, S., Ohkado, H. and Tanaka, S. (2006), Characteristics of alpha wave response to flicker stimuli with color alternation. *Electron. Comm. Jpn. Pt. III*, 89: 1–10. doi: 10.1002/ecjc.20204
- [11] Arduino.cc. [online]. [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://download.arduino.org/products/NANO/Arduino%20Nano-Rev3.2-SCH.pdf>
- [12] Atmel. 8-bit AVR Microcontrollers: ATmega328/P, [katalógový list]. Dostupné z: http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf
- [13] ČSN EN 62471. Fotobiologická bezpečnost světelných zdrojů a soustav světelných zdrojů. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [14] Sammarco, J. J., Mayton, A. G., Lutz, T., Gallagher, S. Discomfort Glare Comparison for Various LED Cap Lamps, in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 47, no. 3, pp. 1168-1174, May-June 2011.
- [15] Villa, C., Bremond, R., Saint-Jacques, E. Assessment of pedestrian discomfort glare from urban LED lighting, in *Lighting Research & Technology*, vol. 49, Issue 2, October 9, 2016

ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK

f	frekvencia	[Hz]
f_{OC1A}	Frekvencia záblesku	[Hz]
f_{clk}	Taktovacia frekvencia záblesku	[Hz]
U_F	Napätie diódy v priepustnom smere	[V]
U	Celkové napätie	[V]
I_{ALL}	Celkový prúd diódami	[A]
I_{ONE}	Prúd na jednej dióde	[A]
R	Rezistor	[Ω]
DG	Discomfort Glare	[-]
DB	De Boerov činiteľ	[-]
DPS	Doska plošného spoja	
CTC	Clear timer on Compare Match	
TCNT1	Timer/Counter 1	
GND	zemný potenciál, zem	
CNS	Centrálna nervová sústava.	
LED	Light-emitting diode	
USB	Universal serial bus	
N	Preddelička	
Li-Pol	Lítium-polymér	

A NÁVRH ZARIADENIA

A.1 Schematické zapojenie LED

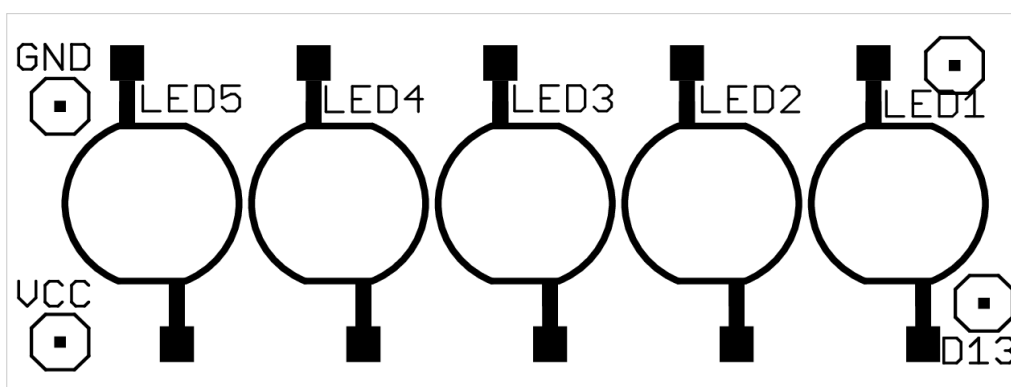


A.2 DPS pre LED – top copper (med' na prednej strane)



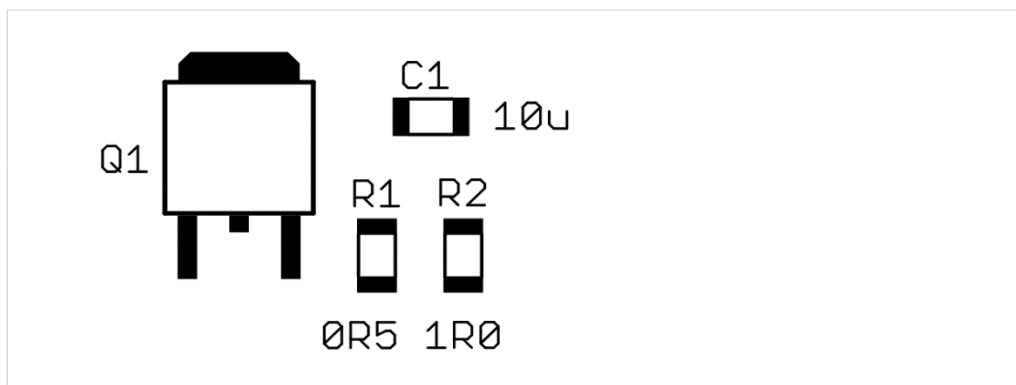
Rozmery dosky 28 x 50 [mm], mierka M2:1

A.3 DPS pre LED – top placement (súčiastky na prednej strane)



Rozmery dosky 17 x 45 [mm], mierka M3:1

A.4 DPS pre LED – bottom placement (súčiastky na zadnej strane)



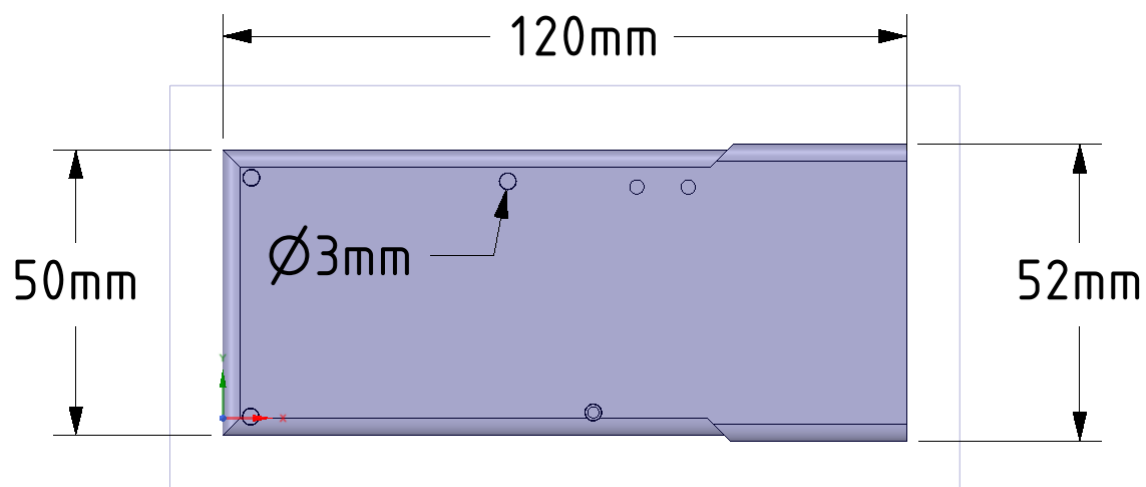
Rozmery dosky 17 x 45 [mm], mierka M3:1

A.5 DPS pre LED – bottom copper (med' na zadnej strane)

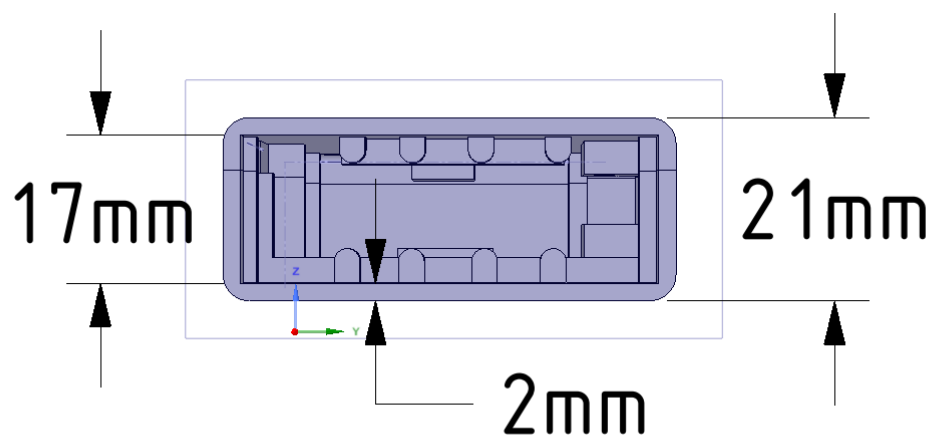


Rozmery dosky 17 x 45 [mm], mierka M3:1

A.6 Rozmery puzdra – pohľad zvrchu



A.7 Rozmery puzdra – predný pohľad



B ZOZNAM SÚČIASTOK

Označení	Hodnota	Puzdro	Popis
C1	10u	1206	SMD keramický kondenzátor
R1	0.5	1206	SMD rezistor
R2	1	1206	SMD rezistor
Q1	IRLR2705	DPAK	SMD tranzistor
OSW4x2e5e1e	-	Dome	LED